Beiträge zur Kenntniss des tropischen Regens

von

J. Wiesner,
w. M. k. Akad.

(Mit 1 Textfigur.)

Vorbemerkung.

Während meines Aufenthaltes in Buitenzorg auf Java in der Zeit von November 1893 bis Februar 1894 beschäftigten mich unter Anderem Studien über die mechanische Wirkung der heftigen Tropenregen auf die Pflanze. Die hierüber in der Literatur anzutreffenden Angaben lauten dahin, dass die tropischen Regengüsse eine starke schädigende Wirkung auf die Gewächse ausüben. Krautige Pflanzen, z. B. die annuellen »Blumen« unserer Gärten sollen, diesen Angaben zufolge, desshalb in den Tropenländern nicht gedeihen, weil sie vom Regen zerschmettert werden würden, lebendes Laub soll von den niederprasselnden Regentropfen zerschlitzt oder gar abgerissen werden, desgleichen Blüthen etc.

Schon meine in Europa angestellten Vorstudien liessen mich annehmen, dass einzelne dieser Erscheinungen, wie das Nichtgedeihen mancher krautiger Gewächse im feucht-warmen Tropengebiete einen anderen Grund habe, nämlich auf den ombrophoben Charakter der Vegetationsorgane[1] der betreffenden Pflanze, welche eine lange andauernde Benässung nicht zulassen, zurückzuführen sei, und dass auch die

[1] Wiesner, Über ombrophiles und ombrophobes Laub. Diese Sitzungsberichte, Bd. 102, I. Abth. (1893). Siehe auch meine Abhandlung: Über den vorherrschend ombrophilen Charakter des Laubes der Tropengewächse. Ebenda. Bd. 103, Abth. I (1894).

angeblichen Verletzungen des Laubes und der Blüthen durch die blosse mechanische Wirkung des Regens eine geringe Wahrscheinlichkeit für sich haben.

Sollte die Frage der mechanischen Wirkung des tropischen Regens ihrer vollständigen Erledigung zugeführt werden, so war es nothwendig, mit grösster Gründlichkeit die betreffenden Verhältnisse zu prüfen: einerseits musste die Menge des niederfallenden Regens für möglichst kleine Zeiträume, sowie die lebendige Kraft der niederfallenden Regentropfen, anderseits und parallel hiezu der an der Pflanze sich zu erkennen gebende Effect durch die unmittelbare Beobachtung festgestellt werden.

Was ich in ersterer Beziehung in der physikalischen und besonders in der meteorologischen Literatur auffand, reichte für meine Zwecke nicht aus, so dass ich mich genöthigt sah, die betreffenden Fragen selbst experimentell zu lösen.

Die Ergebnisse dieser Studien, welche, wie ich von competenter fachmännischer Seite höre, auch für den Meteorologen und Klimatologen von Interesse sind, stelle ich im Nachfolgenden kurz zusammen, während die pflanzenphysiologischen Resultate meiner diesbezüglichen Untersuchungen in den Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg (Leyden) zur Veröffentlichung gelangen werden.

Die nachfolgenden Beiträge zur Kenntniss des tropischen Regens enthalten die Angabe der Methoden, welche ich zur Ermittelung von Regenhöhen für kurze Zeiträume anwendete, nebst Beobachtungen, welche ich nach diesen Methoden erhielt, ferner Untersuchungen über Grösse, Fallgeschwindigkeit und lebendige Kraft der Regentropfen.

Der Darlegung dieser Gegenstände geht eine kurze Darstellung über den Gang der Witterung während der Beobachtungszeit voran.

I. Gang der Witterung in Buitenzorg in der Zeit vom 10. November 1893 bis 4. Februar 1894.

Dieser Abschnitt enthält die von mir erhobenen Daten über den Eintritt und die Dauer der Regen an den einzelnen Beobachtungstagen, über die tägliche Regenhöhe, ferner über Gewitter und Wind.

Die Daten über Eintritt und Dauer der Regen dürfen wohl als vollständig verlässlich angesehen werden. Eine Controle für die Richtigkeit meiner Aufzeichnungen finde ich in der Übereinstimmung meiner Beobachtungen über Zahl und Datum der Regentage und der regenfreien Tage mit jenen, welche Herr Prof. G. Kraus gleichzeitig und unabhängig von mir in Buitenzorg anstellte und kürzlich bezüglich der Monate November und December 1893 summarisch publicirte. Ich komme auf dieselben später noch zurück. Eine weitere Controle der Richtigkeit meiner Aufzeichnungen bilden die Daten, welche Herr Dr. Figdor in Buitenzorg in der Zeit vom 19. December 1893 bis 4. Februar 1894 über die Witterung zum Zwecke seiner Studien über den Saftdruck der Bäume sammelte. Ein Vergleich meiner Aufzeichnungen mit den seinen hat eine vollständige Übereinstimmung unserer Daten ergeben.

Die nachfolgend mitgetheilten täglichen Regenhöhen sind den von Herrn Dr. van der Stok, Director des meteorologischen Institutes in Batavia, redigirten »Regenwaarnemingen in Nederlandsch-Indië« 1893 und 1894 entnommen.[1]

Ein Vergleich meiner Aufzeichnungen über Zeit und Dauer der täglichen Regen mit den täglichen Beobachtungen der Regenhöhen nach den Aufzeichnungen der »Regenwaarnemingen« ergibt manchen — jedoch zumeist nur scheinbaren — Widerspruch. Es lassen ja meine Beobachtungen mit denen der »Regenwaarnemingen« nur einen bedingten Vergleich zu. Denn meine systematischen Beobachtungen, welche mit meinen Aufzeichnungen über das photochemische Klima von Buitenzorg Hand in Hand gingen, erstrecken sich nur auf die Zeit von Morgen bis Abend, also durchschnittlich auf einen Zeitraum von 12 Stunden, während die täglichen Regenhöhen auf einen Zeitraum von 24 Stunden sich beziehen. Es ist ferner zu beachten, dass die Morgens vorgenommene ombrometrische Bestimmung der Regenmenge für den laufenden Tag eingestellt

---

[1] Während der Niederschrift dieser Abhandlung war der Band 1894 in Wien noch nicht eingelangt. Der Gefälligkeit des Herrn Dr. Snellen, Director des königl. niederländ. meteorolog. Institutes in Utrecht, verdanke ich schriftliche Daten über die täglichen Regenmengen von Buitenzorg in den Monaten Jänner und Februar, welche den »Regenwaarnemingen . .« entnommen sind.

wird, während sie die Regenhöhe des Vortages anzeigt.[1] So erklärt es sich beispielsweise, dass in meinen Regenaufzeichnungen der 25. Jänner als regenloser Tag angeführt wird, während die »Regenwaarnemingen« für den 25. Jänner 34 *mm*, hingegen für den 26. eine Regenhöhe = 0 *mm* angeben. Aber selbst wenn man alle Regenhöhen um 24 Stunden zurückdatirt, so ergibt sich noch mancher scheinbare Widerspruch; erstlich weil ich in der Regel die Nachtstunden unberücksichtigt gelassen habe, und zweitens, weil meine Beobachtungen um 6^h a.m. oder auch noch früher begannen, während die Bestimmung der Regenhöhen wahrscheinlich später gemacht wurde.[2]

Was die Beobachtungen über Gewitter und Wind anlangt, so habe ich dieselben gelegentlich, so gut es ging, aufgezeichnet. Für die Verlässlichkeit der angeführten Daten kann ich einstehen, nicht aber für deren Vollständigkeit.

Meine Studien über das photochemische Klima, über welche ich erst später zu berichten in der Lage sein werde, erforderten Beobachtungen über den Grad der Bedeckung des Himmels. An die hierauf bezüglichen Daten, welche vom 19. November 1893 an aufgenommen wurden, füge ich einige in die nachfolgende Zusammenstellung ein, um die Charakteristik des Ganges der Witterung zu vervollständigen.

Im Nachfolgenden bedeutet B_0 völlig klaren, B_{10} völlig bedeckten Himmel, B_1—B_9 bedeuten, dass $^1/_{10}$—$^9/_{10}$ des Himmels mit Wolken bedeckt sind.

S_0 bedeutet vollständige Bedeckung des Himmels; S_1 zeigt an, dass die Sonne nur als heller Schein am Himmel sichtbar ist; S_2, dass die Sonne hinter Wolken als Scheibe erkennbar ist; S_3, dass die Sonne von einem zarten Wolkenschleier bedeckt ist; endlich bezeichnet S_4 vollen Sonnenschein.

---

[1] »Regenwaarnemingen«, Bd. I, Vorwort.

[2] Die »Regenwaarnemingen« enthalten keine bindende Vorschrift bezüglich der Zeit der Bestimmung. Es wird (Bd. I, Vorwort) dem Beobachter völlig freie Hand gelassen. Doch erfolgt die Aufzeichnung der Regenhöhe gewöhnlich zwischen 6—9^h a.m.

November.

11. November. Vormittags halbtrüb, Nachmittags Regen. Regenhöhe = 32 *mm*.

12. » Vormittags halbtrüb, Nachmittags schwacher Regen. Regenhöhe = 0.[1]

13. » Vormittags halbtrüb, Nachmittags schwacher Regen. Regenhöhe = 0.[1]

14. » Trüb bis 1^h p.m., dann kurz andauernder Regen. Regenhöhe = 0.[1]

15. » Vormittags trüb, Mittags halbsonnig, $1-3^h$ p.m. trüb. Um 3^h kurzer, starker Regen. $3^h 30-4^h$ p.m. schwacher Regen. Um 5^h p.m. kurzer, starker Regen. Regenhöhe = 2 *mm*.

16. » Vormittags halbtrüb, 1^h p.m. starker Regen mit Gewitter, dann bis 5^h p.m. Regen von wechselnder Stärke. Regenhöhe = 15 *mm*.

17. » Vormittags halbsonnig, Mittags trüb, $2-3^h$ Gewitter, darauf Aufhellung. Um 5^h starker Regenguss. Regenhöhe = 16 *mm*.

18. » Vormittags sonnig, 12^h schwacher Regen, mit Sonnenschein wechselnd. $3^h 30$ p. m. starker Regenguss. Um 4^h enorm starkes Gewitter, bis $5^h 30$ p. m. schwaches Gewitter mit Regen. Regenhöhe = 9 *mm*.

19. » Bis 12^h sonnig. Um 12^h $B_5 S_4$, dann trüb. Um 1^h schwacher Regen, von schwachem Donner begleitet. Dann trüb, aber regenlos. Um $5^h 30$ p.m. Gewitterregen. Dann schwacher Regen bis $8^h 30$ p.m. Regenhöhe = 56 *mm*.

---

[1] Nach den »Regenwaarnemingen« werden für die Zeit vom 11.—30. November 8 Tage (12., 13., 14., 23., 24., 25. und 26. November) angegeben, an welchen der Regenmesser keinen Regen anzeigte. Ich habe hingegen bloss den 23. und 24. November völlig regenfrei gefunden. Dies stimmt genau mit den Beobachtungen, welche zu gleicher Zeit mit mir zum Zwecke seiner Studien über das Wachsthum des Bambusrohres Herr Prof. G. Kraus in Buitenzorg anstellte (Ann. du Jardin Botan. de Buitenzorg, Vol. XII, p. 201). Offenbar waren die Regenmengen zu klein, um vom Ombrometer angezeigt zu werden.

20. November. 6^h a. m. Sonne, Vormittags bis 11^h halbsonnig. Um 12^h $B_7 S_0$. Bis 4^h p. m. trüb. 4^h kurzer, schwacher Regen. $6^h 30$ p. m. bis tief in die Nacht hinein starker Regen.[1] Regenhöhe = 60 *mm*.

21. » Trüb und halbsonnig während des Vormittags. Um $12^h 15$ $B_9 S_2$. Nachmittags abwechselnd halbsonnig und trüb, Abends trüb, Nachts Regen. Regenhöhe = 12 *mm*.

22. » Früh halbsonnig. $8^h 30$ $B_6 S_3$. $9^h 30$ $B_3 S_{3-4}$. Von $11^h 10$ trüb bis $4^h 15$ p. m. Etwas Wind. Um $4^h 15$ p. m. schwacher Regen. Regenhöhe = 0 *mm*.

23. » Bis 4^h p. m. halbsonnig, dann trüb. 12^h m. $B_7 S_{3-4}$. Regenfreier Tag. Regenhöhe = 0 *mm*.

24. » Sonniger Tag. Vormittags B_2—B_3 S_{3-4}, Mittags $B_3 S_3$, Nachmittags B_3—B_6. Regenfreier Tag. Regenhöhe = 0 *mm*.

25. » Halbsonnig bis 4^h p. m. Mittags $B_2 S_3$. 4—5^h p. m. trüb, 5–6^h p. m. schwacher Regen. Regenhöhe = 0.

26. » Vormittags trüb. 12^h m. $B_{10} S_2$. Bis 3^h p. m. trüb, um 4^h p. m. bis Abends kurzer, schwacher Regen. Regenhöhe = 0 *mm*.

27. » 6—7^h a. m. trüb, 7—$7^h 15$ a. m. sehr schwacher Regen, dann trüb. $10^h 45$ a. m. schwacher, Mittags starker, dann schwacher Regen bis Nachts. Regenhöhe = 5 *mm*.

28. » Trüb und abwechselnd schwacher Regen bis 4^h p. m., dann starker Regen bis Abends. Regenhöhe = 44 *mm*.

29. » Trüb und halbsonnig abwechselnd bis 2^h p. m. 2—4^h p. m. Gewitter mit Regen. Regenhöhe = 12 *mm*.

30. » Sonnig und halbsonnig bis 11^h a. m., dann trüb. 12—2^h p. m. starker Regen, dann trüb. Regenhöhe = 10 *mm*.

---

[1] Die nächtlichen Beobachtungen über Regen sind unvollständig, und wurde von mir nur dann Regen angegeben, wenn ich zufällig während eines nächtlichen Regens erwachte, oder wenn der Zustand der Vegetation am frühen Morgen mit Bestimmtheit auf einen nächtlichen Regen hinwies.

December.

1. December. Vormittags trüb und sonnig wechselnd ($10^h 55$ $B_4 S_1$; $11^h 20$ $B_5 S_3$; $11^h 45$ $B_7 S_0$; 12^h m. $B_9 S_0$). Bis $1^h 45$ trüb, um $1^h 45$ schwaches, um 2^h heftiges Gewitter mit starkem Regen bis $3^h 30$ p.m., dann trüb, ohne Regen, etwas Wind. Regenhöhe = 88 *mm*.

2. » 6^h a.m. Zenith klar, Horizont trüb. $6^h 30$ a.m. $B_8 S_1$, 8^h a.m. $B_9 S_1$, Mittag $B_9 S_1$, dann trüb. $1^h 45$ bis $3^h 15$ starker Regen. 4^h etwas Sonne, dann trüb und hin und wieder sonnig bis Abends. Regenhöhe = 5 *mm*.

3. » 5^h a.m. Zenith klar, 6^h schon B_6, trüb bis 10^h, dann halbsonnig bis $1^h 30$ (12^h $B_4 S_1$; $12^h 30$ $B_4 S_4$), dann trüb. $1^h 45$ starker Donner, 2—3^h p.m. starker Regen, trüb, um 4^h Sonne, dann trüb und etwas sonnig abwechselnd. Regenhöhe = 19 *mm*.

4. » 6^h a.m. B_4. Sonnig bis 11^h, dann trüb. $11^h 30$ starker Regen. 12^h m. $B_{10} S_0$. $1^h 45$—3^h starker Regen. Trüb bis Abends. Regenhöhe = 14 *mm*.

5. » $5^h 30$—$11^h 30$ B_{10}, dann halbsonnig und trüb wechselnd bis Mittag. 12^h m. starker Regen, dann in Pausen regnend bis 4^h p.m. Trüb bis Abends. Abends theilweise bewölkt. Regenhöhe = 12 *mm*.

6. » 6^h a.m. trüb, etwas nebelig, 7^h a.m. zarte Wolkenschleier, sonnig. $8^h 3$ $B_5 S_3$; $10^h 3$ $B_6 S_{3-4}$; $10^h 30$ $B_9 S_3$, $11^h 30$ $B_{10} S_1$. 12—$12^h 30$ Regen, dann abwechselnd trüb und sonnig. 2—3^h und 4—8^h p.m. Regen, sonst trüb. Regenhöhe = 6 *mm*.

7. » Morgens Zenith frei, sonst wolkig. 6^h a.m. B_3. 7^h a.m. Zenith klar, B_1. Trüb und halbsonnig wechselnd bis 2^h p.m. ($7^h 20$ a.m. $B_7 S_3$; $11^h 5$ $B_7 S_2$; $12^h 8$ $B_8 S_2$). 2^h p.m. Regen bis Abends. Um 3^h p.m. Gewitter. Regenhöhe = 10 *mm*.

8. » 5^h a.m.—1^h p.m. trüb und sonnig wechselnd ($5^h 45$—$7^h 20$ a.m. $B_{10} S_0$; $8^h 30$ $B_{10} S_1$; $9^h 45$ $B_9 S_2$;

11^h a.m. $B_{10} S_0$; 12^h m. $B_9 S_1$), dann trüb; 2^{h}15 bis 8^h p.m. Regen. Regenhöhe = 42 *mm.*

9. December. 6^h a.m. B_{10}, Zenith mit zarten Wolken bedeckt, dann trüb. 1^{h}30—3^{h}30 Regen, trüb bis 8^h p.m. Dann halbbestirnt. Regenhöhe = 20 *mm.*

10. » 6^h a.m. Zenith klar, sonst trüb und halbsonnig wechselnd bis 1^h p.m. (10^{h}40 a.m. $B_5 S_3$; 11^{h}30 $B_6 S_2$; 12^{h}45 $B_{10} S_0$). 1^h p.m. schwacher Regen, dann halbsonnig bis 4^{h}30, dann trüb. Regenhöhe = 9 *mm.*

11. » 6^h a.m. B_{10} trüb. 6^{h}30—9^{h}30 Regen, dann halbsonnig und trüb abwechselnd (B_{9-10} S_{0-3}). 8^h bis 10^h p.m. Regen. Regenhöhe = 5 *mm.*

12. » 6^h Zenith fast frei, B_{10}. Trüb und sonnig abwechselnd bis 1^{h}30. 10^{h}50—11^{h}40 B_{7-9} S_{2-3}. 1^{h}30 Gewitter und Regen bis 3^{h}45 p.m. Regenhöhe = 6 *mm.*

13. » 6^h a.m. Zenith fast frei, B_8, bis Mittag halbsonnig (11^{h}4—11^{h}50 B_{8-9} S_{1-3}). 1^{h}5 p.m. starkes Gewitter und starker Regen bis 3^h p.m. und bis 4^{h}20 p. m. schwacher Regen. Nachts starker Regen. Regenhöhe = 10 *mm.*

14. » 6^h a.m. B_1 sonnig (7^{h}45—12^{h}5 a.m. B_{1-5} S_{2-4}. 12^{h}45—1^{h}30 starker Regen, dann halbsonnig und trüb wechselnd. 2^{h}50 p.m. schwacher Regen, dann trüb. Regenhöhe = 62 *mm.*

15. » Bis 11^{h}20 a.m. sonnig (9^{h}20 a.m. $B_1 S_4$; 11^{h}20 $B_9 S_1$). 11^{h}45 a.m. kurzer Regen. Nachmittags sonnig (4^{h}45 $B_5 S_4$; 5^{h}25 $B_5 S_2$; 5^{h}30 $B_5 S_4$; 5^{h}50 $B_2 S_3$). Regenhöhe = 4 *mm.*

16. » Morgens halbsonnig B_5. 8^{h}45—9^{h}15 a.m. Regen, dann trüb. 10^h—10^{h}30 Regen, dann trüb. 5^h bis 5^{h}30 Regen, trüb. 8^h—8^{h}30 Regen. Regenhöhe = 0.[1]

---

[1] Auch Herr Prof. Kraus hat gleich mir in seiner oben genannten Abhandlung an diesem Tage Regen beobachtet.

17. December. Trüb. 10^h a.m. Regen, dann trüb. 3^h—3^h 30 Regen, dann trüb bis Abends. Um 5^h p.m. kurzer Regen. Regenhöhe = 5 *mm.*

18. » Sonnig bis 11^h a.m. (7^h 20 a.m. $B_0 S_4$; 10^h 3 $B_3 S_4$), dann trüb. 2^h 30—4^h Regen, dann trüb. Regenhöhe = 2 *mm.*

19. » Sonnig, 2^h—2^h 15 Regen, dann abwechselnd trüb und sonnig. Regenhöhe = 2 *mm.*

20. » Sonnig und halbsonnig wechselnd bis 4^h p.m., dann trüb. Regenloser Tag. Regenhöhe = 0.

21. » Bis 10^h a.m. trüb, von 10^h 45—1^h p.m. halbsonnig ($B_{7-10} S_{2-3}$), 2^h—2^h 30 Regen, dann sonnig und trüb wechselnd, Nachts Mondschein. Regenhöhe = 4 *mm.*

22. » 6^h a.m. B_2, sonnig bis Mittag, dann trüb; 2 bis 3^h p.m. Regen, dann trüb. Regenhöhe = 1 *mm.*

23. » 6^h a.m. trüb. B_{10}. 6^h 30 a.m. bis Abends Regen von wechselnder Stärke. Regenhöhe = 26 *mm.*

24. » 6^h trüb. 6^h 30 bis Mittags wenig Sonne (S_0—S_2), trüb und Regen abwechselnd, dann trüb. 4^h schweres Gewölk am Himmel, aber kein Regen. Regenhöhe = 10 *mm.*

25. » 6^h sonnig bis Mittag, dann trüb. 3^h 22 p.m. Gewitterregen, dann trüb bis Abends. Regenhöhe = 3 *mm.*

26. » Fast den ganzen Tag sonnig und halbsonnig. 6^h 30 p.m. Gewitterregen. Regenhöhe = 27 *mm.*

27. » Trüb und hin und wieder halbsonnig. 3^h 45 bis 6^h p.m. Regen, dann trüb. 10^h p.m. Regen. Regenhöhe = 2 *mm.*

28. » 6^h sonnig bis Mittag ($B_{3-4} S_3$). 2^h—2^h 45 Regen, dann halbsonnig. Regenhöhe = 16 *mm.*

29. » Halbsonnig und sonnig (10^h $B_2 S_3$; 11^h $B_3 S_3$, 12^h $B_4 S_3$; 4^h $B_5 S_2$; 5^h $B_6 S_1$). Kein Regen. Regenhöhe = 2 *mm.*[1]

---

[1] Auch Prof. Kraus bezeichnet (l. c.) den 29. December als regenfreien Tag.

30. December. Vormittags sonnig und halbsonnig (6^h B_6; 7^h B_4 S_3; 8^h $B_3 S_3$; 9^h $B_4 S_1$; 11^h B_9 S_1). 12^h m. etwas Regen, dann trübe. Nachts kein Regen. Regenhöhe = 0.[1]

31. » Trüb. Mittags kurzer Regen, dann bis 3^h 15 p. m. abwechselnd trüb und sonnig. Um 3^h 15—4^h p. m. kurz andauernder Regen, dann bis Abends abwechselnd sonnig und trüb. Regenhöhe = 3 *mm*.

Jänner.

1. Jänner. Früh sonnig bis 10^h a. m., dann trüb bis 10^h 45 a. m. Um 10^h 45 starker Regen, dann trüb und halbsonnig wechselnd (12^h m. B_{10} S_0) bis Abends. Regenhöhe = 0.

2. » Früh sonnig bis gegen Mittag (6^h a. m. B_2; 9^h $B_3 S_3$; 10^h B_4 S_2; 11^h $B_5 S_3$). 12^h schwacher, 1^h 30—2^h 30 bedeutend stärkerer Regen, dann trüb bis Abends. Regenhöhe = 0.

3. » Vormittags halbsonnig (6^h B_4; 9^h $B_8 S_2$; 10^h S_3; 11^h B_9 S_2). 12^h schwacher, 1^h 30—2^h 15 p. m. bedeutend stärkerer Regen, dann trüb. Regenhöhe = 21 *mm*.

4. » 6^h a. m. B_9 windig, zumeist sonnig bis Mittag. 12^h m. $B_{10} S_0$. 12^h 15—2^h 30 p. m. kurzer, schwacher Regen, dann trüb. Regenhöhe = 23 *mm*.

5. » Sonnig, Nachmittags Regen (6^h B_0; 7^h $B_4 S_3$; 8^h $B_5 S_2$; 9^h $B_6 S_3$; 10^h $B_7 S_2$; 12^h $B_8 S_1$). Nachts Regen. Regenhöhe = 4 *mm*.

6. » 6^h a. m. Regen und so fort bis 5^h p. m. Abends halbgestirnter Himmel. Nachts Regen. Regenhöhe = 8 *mm*.

7. » Regen bis 9^h 30, dann Aufheiterung bis Mittag (10^h $B_{10} S_1$; 11^h $B_{10} S_2$; 12^h $B_5 S_3$), dann regnerisch, hierauf halbsonnig. Abends Regen. Regenhöhe = 13 *mm*.

---

[1] Gleich mir führt auch Prof. Kraus den 30. December als einen Tag an, der nicht regenfrei war.

8. Jänner. Den ganzen Tag regnerisch, zum Theil sehr starker Regen. Regenhöhe = 17 *mm.*

9. » Den ganzen Tag Regen mit Ausnahme der Zeit von 10—12^h m. (10^{h}20—10^{h}40 und 11^{h}10—12^h B_{10} S_0) trüb. Regenhöhe = 32 *mm.*

10. » Trüb, spärlich halbsonnig (12^h m. B_{10} S_1), 4^{h}45 bis 6^h p.m. zuerst schwacher, dann starker, zum Theil sehr heftiger Regen. Regenhöhe = 4 *mm.*

11. » Regen oder trüb bis Mittags, dann trüb bis Abends. Nur um 11^h a.m. etwas sonnig (B_{10} S_1). Regenhöhe = 20 *mm.*

12. » Trüb und regnerisch bis Mittag, Nachmittags trüb und halbsonnig. Regenhöhe = 13 *mm.*

13. » Morgens Regen, dann regnerisch und halbsonnig bis Mittag (12^h m. B_{10} S_1). Nachmittags trüb und regnerisch. Um 6^h p.m. schwaches Gewitter. Regenhöhe = 17 *mm.*

14. » Früh starker Regen, dann regnerisch bis 10^h a.m., dann trüb und von 10^{h}30—12^h halbsonnig (B_{10} S_1), desgleichen bis Abends. Regenhöhe = 30 *mm.*

15. » 6^h a.m. B_{10}. 7—8^h a.m. Regen. dann trüb und regnerisch bis Mittag. Nachmittags trüb und sonnig wechselnd. Regenhöhe = 7 *mm.*

16. » Vormittags halbsonnig (7^h B_9 S_1; 8^h B_{10} S_1; 9^h B_{10} S_1; 10—12^h B_{10} S_2). Nachmittags trüb. Regenloser Tag. Regenhöhe = 3 *mm.*

17. » Vormittags trüb und halbsonnig wechselnd bis Mittag (6^h B_9 S_0; 7^h B_9 S_1; 9^h B_{10} S_2; 10^h B_{10} S_0; 12^h B_{10} S_0). Nachmittags etwas regnerisch, Abends halbheiter. Regenhöhe = 1 *mm.*

18. » Halbsonnig und sonnig wechselnd (9^h B_9 S_2; 11^h B_{10} S_1; 12^h B_{10} S_2; 3^h p.m. B_7 S_3; 4^h B_6 S_3). 7^h p.m. kurz andauernder Gewitterregen. Regenhöhe = 17 *mm.*

19. » Sonnig bis Mittag (8^h B_3 S_3; 9^h B_2 S_3; 10^h B_1 S_4; 11^h B_2 S_4; 12^h B_4 S_2). 1^{h}30—3^h p.m. Gewitter mit Regen, dann regnerisch. Regenhöhe = 2 *mm.*

20. Jänner. Halbsonnig und sonnig bis Mittag (11^h $B_8 S_1$; 12^h $B_6 S_3$). $1^h 15$—$2^h 30$ p.m. Regen, dann trüb. Regenhöhe = 8 *mm*.

21.—25. Jänner. An diesen fünf Tagen war der Verfasser nicht in Buitenzorg. Nach verlässlichen Mittheilungen hat es während dieser Zeit täglich mit Ausnahme des 25. Jänner geregnet. Regenhöhe = 2, 35, 1, 18 und 34 *mm*.

26. Jänner. Früh sonnig. Vormittags trüb und halbsonnig wechselnd (12^h m. $B_{10} S_1$). $1^h 30$ p.m. sehr starker Regen, dann trüb bis Abends. Regenhöhe = 0.

27. » Früh sonnig, dann trüb und sonnig wechselnd (10^h a.m. $B_{10} S_2$; 11^h $B_{10} S_3$; 12^h $B_9 S_3$). 2^h p.m. starker Regen, dann trüb. Regenhöhe = 10 *mm*.

28. » Vormittags trüb und halbsonnig wechselnd, 2^h schwacher Regen, dann trüb. Regenhöhe = 1 *mm*.

29. » Früh trüb, dann schwacher Regen bis gegen Mittag, dann . . . . . (?) Regenhöhe = 0.

30. » Vormittags abwechselnd trüb und heiter. $1^h 30$ bis $1^h 45$ starker, dann bis 3^h schwacher Regen, dann zumeist trüb. Regenhöhe = 0.

31. » Vormittags halbsonnig. $1^h 30$—$2^h 30$ Regen und Wind. Regenhöhe = 0.

Februar.

1. Februar. Regen bis 2^h p.m., dann trüb. Nachts starker Regen. Regenhöhe = 7 *mm*.

2. » Vormittags trüb. Mittags Regen. Nachmittags trüb und halbsonnig wechselnd. Abends und Nachts Regen. Regenhöhe = 23 *mm*.

3. » Regen bis $9^h 45$ a.m., dann trüb. Regenhöhe = 50 *mm*.

4. » Trüb und sonnig wechselnd bis gegen Mittag . . . . Regenhöhe = 11 *mm*.

Von den beobachteten 85 Tagen — der 4. Februar wurde nicht mitgerechnet, da an demselben keine vollständigen Beob-

achtungen angestellt wurden — waren zuverlässig nur sechs Tage in der Zeit vom Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang vollkommen regenfrei, nämlich der 23. und 24. November, der 20. und 29. December, endlich der 16. und 25. Jänner. Gewitter wurden an 15, Wind an 4 Tagen beobachtet, wobei noch auf die Anmerkung auf S. 6 zu verweisen und weiter zu bemerken ist, dass ich vom 21.—25. Jänner nicht in Buitenzorg anwesend war, bezüglich welcher Zeit ich allerdings über die Regenverhältnisse unterrichtet wurde, nicht aber über Auftreten von Wind und Gewitter.

Die Gesammt-Regenmenge im November 1893 betrug 369 *mm*. Die stärksten Regenfälle waren am 9. (73 *mm*), 19. (56 *mm*) und 20. (60 *mm*).

Die Gesammt-Regenmenge im December 1893 betrug 415 *mm*. Die stärksten Regenfälle waren am 1. (88 *mm*), 8. (42 *mm*) und 14. (62 *mm*).

Die Gesammt-Regenmenge im Jänner 1894 betrug 341 *mm*. Der stärkste Regenfall war am 22. (35 *mm*).[1]

Nach 15jährigen Beobachtungen beträgt die jährliche Regenmenge von Buitenzorg 4464 *mm*, die mittlere Regenmenge in den Monaten Jänner—December: 495, 422, 467, 422, 367, 289, 261, 232, 361, 416, 373 und 359 *mm*.[2]

Meine Regenbeobachtungen fallen somit, wie man sieht, fast in die Periode des grössten Regenfalles.[3]

---

[1] Nach schriftlichen Mittheilungen des Herrn Director Snellen (aus »Regenwaarnemingen« pro 1894, Batavia 1895).

[2] Nach »Regenwaarnemingen« pro 1893, p. 367 und 399. — Nach A. Woeikof (Resultate der 15jährigen Beobachtungen im malayischen Archipel, Meteorologische Zeitschrift, 1895, S. 404) sind in Buitenzorg die zwei regenreichsten Monate Jänner und März, die zwei trockensten August und Juli.

[3] Ob die regenreichste Zeit auch diejenige ist, in welcher der stärkste Regen (grösste Regenhöhe in der Secunde oder Minute) fällt, ist nicht untersucht, liesse sich aber nach den von mir angegebenen Methoden ermitteln. Es muss aber den Meteorologen überlassen bleiben, zu ermitteln, ob die Angabe der Regenstärke von Belang ist.

II. Methoden zur Ermittlung von Regenhöhen für kurze Zeitabschnitte.

Die Ermittlung der Regenhöhe geschieht bekanntlich durch Regenmesser (Ombrometer), welche, ihrem Zwecke entsprechend, bloss die Bestimmung von innerhalb grösserer Zeiträume niederfallenden Regenmengen zulassen. Durch diese Apparate wird gewöhnlich die Regenmenge für einen Zeitraum von 12 oder 24 Stunden bestimmt.

Die in neuerer Zeit in Verwendung gekommenen registrirenden Ombrometer gestatten allerdings auch die Ablesung von in kleineren Zeiträumen niedergefallenen Regenmengen, etwa für eine Viertelstunde oder selbst 10 Minuten.

Meine Fragestellung erforderte aber die Feststellung von Regenhöhen für möglichst kleine Zeiträume, wenn thunlich für die einzelne Secunde. Zu diesem Zwecke sind aber selbstverständlich selbst die genauesten registrirenden Ombrometer nicht geeignet, weshalb ich mich genöthigt sah, ein von dem gewöhnlichen Verfahren der Regenhöhenbestimmungen abweichendes zu ersinnen.

Ich habe zur Erreichung des bezeichneten Zieles zwei Methoden in Anwendung gebracht, welche ich kurz mit dem Namen Büretten- und Aufsaugungsmethode bezeichne. Dieselben erlauben im günstigsten Falle die pro Secunde niederfallende Regenmenge mit ausreichender Genauigkeit festzustellen.

Die Bürettenmethode besteht in Folgendem. Es wird eine durch Glashahn verschliessbare und zu öffnende Bürette fix und vertical aufgestellt. Über derselben befindet sich ein Glastrichter, dessen Hals in die Bürette eingeführt ist. Die obere Trichteröffnung wird genau horizontal gestellt. Der Rand des Trichters umspannte in meinen Versuchen eine Fläche $= 7539\,mm^2$. Die Calibrirung der Bürette liess direct die Ablesung von Kubikcentimetern, 500 und schliesslich $100\,mm^3$ zu. $50\,mm^3$ konnten noch abgeschätzt werden. Es wurde entweder die Regenmenge ermittelt, welche innerhalb einer bestimmten Zeit in der Bürette sich ansammelte, oder es wurde ein bestimmtes Flüssigkeitsvolum angesammelt und genau ermittelt,

welcher Zeitraum erforderlich war, bis die vollständige Füllung des betreffenden Volums (gewöhnlich 1 cm^3) erfolgt war.

Die Bestimmung wurde nur bei völliger Windstille vorgenommen, welche ja an dem Beobachtungsorte, wie auch die obigen Daten lehren, die Regel bildet.

Die Zeitbestimmung erfolgte mit Zuhilfenahme eines sogenannten Chronographen, nämlich einer Secundenuhr, welche durch Druck auf die Feder in Gang zu bringen ist, durch einen zweiten Druck zum Stillstand gebracht wird, und deren Zeiger durch einen dritten Druck wieder auf den Nullpunkt zurückkehrt. Mit Zuhilfenahme dieser Uhr lässt sich eine Zeitbestimmung vornehmen, ohne dass es nöthig ist, die Zeit am Zifferblatte abzulesen. Man kann also den Flüssigkeitsstand in der Bürette ablesen und gleichzeitig Beginn und Schluss jedes Versuches markiren. Der verwendete Chronograph gestattete die Ablesung von 0"2, und bei einiger Übung die Schätzung von 0"1.

Die Aufsaugungsmethode beruht auf dem Principe, dass die Tropfen einer Flüssigkeit, auf homogene Fliesspapiere geträufelt, sich in Flächen ausbreiten, welche den Gewichten der auffallenden Tropfen proportional sind. Nimmt man das erste beste Fliess- oder Filterpapier zum Versuche, so kommen wohl Fehler bis zu $\pm 12\%$ vor. Wählt man aber das zum Versuch zu verwendende Fliesspapier mit Sorgfalt aus, so gelangt man bei genauer Durchführung des Versuches zu überraschend genauen Resultaten, welche (bei nicht allzukleinen Tropfen, die übrigens bei meinen Regenversuchen nicht in Betracht kamen) das Gewicht des niederfallenden Regens bis auf $\pm 2\%$ richtig angeben.

Die von mir zumeist verwendeten Fliesspapiere hatten für Wasser eine Absorptionsconstante, welche pro Quadratcentimeter $= 0\cdot 0055$, beziehungsweise $0\cdot 0104$ *g* betrug, d. h. jedem Quadratcentimeter des vom Papiere absorbirten Wassers entsprach ein Gewicht von $0\cdot 0055$, beziehungsweise $0\cdot 0104$ *g*.

Indem man die Wasser- oder die Regentropfen auf das Papier fallen lässt, ist es erforderlich, dass das Papier horizontal und »hohl« liegt, also unterseits nicht mit einem Körper in Berührung stehe, welcher Wasser aufsaugt oder durch Adhäsion

festhält. Wird der Versuch in mässig feuchter oder in trockener Luft ausgeführt, so hat man zur Verhütung der Verdunstung das hohl aufliegende Papier, auf welchem sich der Tropfen ausbreitet, mit einem Uhrglas vorsichtig zu bedecken, welches an seiner Innenseite durch Bedeckung mit feuchten Fliesspapierstreifen feucht erhalten wird. In den Tropen ist in der Regel diese Vorsicht unnöthig, da die Luft zumeist, besonders während des Regens, nahezu vollständig dampfgesättigt ist. Es macht keine Schwierigkeit, den Zeitpunkt zu finden, in welchem die Flüssigkeit sich auf dem Papier vollständig ausgebreitet hat. Ist dieser Zeitpunkt erreicht, so markirt man die Grenzen des scharf umschriebenen feuchten Flecks durch eine feine Bleistiftlinie, copirt durch Pausepapier und bestimmt die Flächengrösse mittelst Millimeterpapier.

Fallen auf eine und dieselbe Stelle des Papiers zwei oder mehrere Tropfen, so kann nichtsdestoweniger die Gewichtsbestimmung des niedergefallenen Regenwassers mit derselben Genauigkeit ausgeführt werden, als wenn die Tropfen einzeln auf das Papier gefallen wären, man hat nur Sorge zu tragen, dass man so lange wartet, bis die Grenzen des sich ausbreitenden feuchten Fleckes sich nicht mehr erweitern, denn selbst beim Niederfallen mehrerer Tropfen auf eine und dieselbe Stelle des Papiers lässt sich eine genaue (indirecte) Gewichtsbestimmung des niedergefallenen Wassers durchführen, wovon man sich leicht auf folgende einfache Weise überzeugen kann. Lässt man aus einem genau gearbeiteten Tropffläschchen, dessen ausfliessende Tropfen gleiches Gewicht besitzen, die sich also auf dem Fliesspapier zu Kreisflächen völlig gleicher Grösse ausbreiten, einen, zwei, drei... Tropfen auf dieselbe Stelle des Aufsaugepapiers niederfallen, so findet man, dass die Quadrate der Radien der ersten, zweiten, dritten... Kreisfläche sich zu einander wie die Zahlen 1:2:3... verhalten. Es sind mithin auch in unserem Falle die Flächen, welche die Tropfen auf dem Papiere erzeugen, den Gewichten der auffallenden Wassertropfen genau proportional.

Es braucht nicht besonders auseinandergesetzt zu werden, dass das Papier, auf welches die Tropfen auffallen, gross

genug sein muss, damit die Flüssigkeit sich ungehindert ausbreiten könne.

Misst man die Fläche, auf welcher die Tropfen auffielen, und misst man ferner die Grösse der Flächen, welche die sich ausbreitenden Flüssigkeitstropfen einnehmen, so erhält man durch Zuhilfenahme der ermittelten Constanten (z. B. 0·0055 *g* pro Quadratcentimeter) die auf die genannte Fläche in einer bestimmten Zeit niedergefallene Regenmenge, woraus sich die Regenhöhe leicht berechnen lässt.

Würde beispielsweise in 5 Secunden auf eine Papierfläche von 100 cm^2 sich eine Flüssigkeitsmenge ausgebreitet haben, deren Fläche in Summe 51·50 cm^2 beträgt, so sind innerhalb 5" auf die genannte Fläche 0·28325 *g* Wasser niedergefallen, was einer Regenhöhe = 0·02832 *mm* pro 5" und 0·00566 *mm* pro Secunde entsprechen würde.

Es ist selbstverständlich, dass man bei sehr starkem Regen Papiere zur Bestimmung wählen wird, welche einen hohen Absorptionscoëfficienten haben (z. B. 0·010—0·016 *g* pro Quadratcentimeter), während sich bei schwächerem Regen die Verwendung von Papieren mit kleinerem Absorptionscoëfficienten z. B. 0·003—0·008 *g* pro Quadratcentimeter) empfehlen werden.

III. Bestimmungen von Regenhöhen, nach der Bürettenmethode durchgeführt.

1.

9. December 1893.

Dauer des Regens: 1^h 30 p. m.—3^h 30 p. m.

Beobachtungszeit: 2 40 p. m.— 3 45 p. m.

	Zeit	Regenhöhe in *mm* [1]
Beobachtung Nr. 1	2^h 40—2^h 50	0·928
» » 2	2 50—2 55	0·397
» » 3	2 55—3	0·345
» » 4	3 —3 5	0·119
» » 5	3 5 —3 15	0·039
» » 6	3 15—3 30	0·017
» » 7	3 30—3 45	0

[1] Quotient aus der angesammelten Regenmenge in Kubikmillimetern und Trichterquerschnitt (7539 mm^2).

	Regenhöhe in *mm*			
	pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Beobachtung Nr. 1....	0·00155	0·0928	5·568	133·63
» » 2....	0·00132	0·0794	4·764	114·34
» » 3....	0 00115	0·0690	4·140	99·36
» » 4....	0·00039	0·0238	1·428	34·27
» » 5....	0·00007	0·0039	0·234	5·62
» » 6....	0·00002	0·0011	0·066	1·58
» » 7....	0	0	0	0

2.

13. December 1893.

Dauer des Regens: 1^h 5 p.m.—4^h 20 p.m.

Beobachtungszeit: 2 40 p.m.— 4 30 p.m.

	Zeit	Regenhöhe in *mm*
Beobachtung Nr. 1.......	3^h 5 —3^h 10	0·384
» » 2.......	3 10—3 15	0·013
» » 3.......	3 15—3 25	0
» » 4.......	3 25—3 30	0·185
» » 5.......	3 30—3 35	0·208
» » 6.......	3 35—3 40	0·130
» » 7.......	3 40—3 45	0·117
» » 8.......	3 45—3 50	0·026
» » 9.......	3 50—4 20	0·026
» » 10.......	4 20—4 30	0

	Regenhöhe in *mm*			
	pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Beobachtung Nr. 1...	0·00128	0·0768	4·608	110·59
» » 2...	0·00004	0·0026	0·156	3·74
» » 3...	0	0	0	0
» » 4...	0·00062	0·0370	2·220	53·28
» » 5...	0·00069	0·0416	2·496	59·90
» » 6...	0·00043	0·0260	1·560	37·44
» » 7...	0·00039	0·0234	1·404	33·70
» » 8...	0·00009	0·0052	0·312	7·49
» » 9...	0·00001	0·0008	0·048	1·15
» » 10...	0	0	0	0

3.

16. December 1893.

Dauer des Regens: 8^h 45 a.m.—9^h 15 a.m.

Beobachtungszeit: 8 47 a.m.—9 12 a.m.

	Zeit	Regenhöhe in *mm*
Beobachtung Nr. 1........	8^h 47—8^h 52	0·550
» » 2........	8 52—8 57	0·435
» » 3........	8 57—9 2	1·851
» » 4........	9 2 —9 7	0·035
» » 5........	9 7 —9 12	Spur

	Regenhöhe in *mm*			
	pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Beobachtung Nr. 1....	0·00183	0·110	6·60	158·40
» » 2....	0·00145	0·087	5·22	125·28
» » 3....	0·00617	0·370	22·20	532·80
» » 4....	0·00012	0·007	0·42	10·08
» » 5....	Spur	Spur	?	?

4.

23. December 1893.

Dauer des Regens: Von 6^h 30 a. m. bis Abends fast fortwährender Regen von wechselnder Höhe.

Beobachtungszeit: 2^h50 p.m.—3^h15 p.m.

In dieser Beobachtungsreihe wurde die Zeit ermittelt, welche erforderlich war, bis 1 cm^3 Wasser in der Bürette sich angesammelt hat. Im Übrigen blieb die Versuchsanstellung die gleiche wie in den Versuchsreihen 1, 2 und 3. Der Werth

$$\frac{1000}{7539} = 0 \cdot 1326$$

gab die Regenhöhe für die Zeit der Beobachtungen, aus welchem durch Division mit der Secundenzahl zunächst die Regenhöhe pro Secunde sich ergibt.

Beob-achtung	Zur Füllung von 1 cm^3 waren erforderlich	Regenhöhe in *mm*			
		pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Nr. 1	20·5 Sec.	0·00646	0·388	23·250	558·00
» 2	20·0 »	0·00663	0·398	23·880	573·12
» 3	25·2 »	0·00526	0·316	18·960	455·04
» 4	35·0 »	0·00378	0·227	13·620	326·88
» 5	21·4 »	0·00619	0·371	22·260	534·24
» 6	18·4 »	0·00720	0·432	25·920	622·08
» 7	15·2 »	0·00872	0·523	31·380	753·12
» 8	20·5 »	0·00646	0·388	23·250	558·00
» 9	45·5 »	0·00291	0·175	10·500	252·00
» 10	80·0 »	0·00166	0·100	6·000	144·00
» 11	100·0 »	0·00133	0·080	4·800	115·20
» 12	40·2 »	0·00329	0·197	11·820	283·68
» 13	45·2 »	0·00293	0·176	10·560	253·44
» 14	60·5 »	0·00219	0·131	7·860	188·64

5.

25. December 1893.
Dauer des Regens: 3^h p.m.—3^h 22 p.m.
Beobachtungszeit: 3 p.m.—3 22 p.m.

Beob-achtung	Zur Füllung von 1 cm^3 waren erforderlich	Regenhöhe in *mm*			
		pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Nr. 1	10 Sec.	0·01326	0·796	47·760	1146·24
» 2	14·2 »	0·00933	0·560	33·600	806·40
» 3	18·4 »	0·00720	0·432	25·920	622·08
» 4	16·0 »	0·00828	0·497	29·820	715·68
» 5	14·5 »	0·00914	0·548	32·880	789·12
» 6	10·0 »	0·01326	0·796	47·760	1146·24
» 7	6·2 »	0·02139	1·283	76·980	1847·52
» 8	5·0 »	0·02652	1·591	95·460	2291·04
» 9	4·8 »	0·02762	1·657	99·420	2386·08
» 10	6·2 »	0·02139	1·283	76·980	1847·52
» 11	7·8 »	0·01700	1·020	61·200	1468·80
» 12	15·2 »	0·00872	0·523	31·380	753·12

6.

27. December 1893.

Dauer des Regens: 3^h 45 p.m.—6^h p.m.

Beobachtungszeit: 4 p.m.—5^h p.m.

Beobachtung	Zur Füllung von 1 *cm*³ waren erforderlich	Regenhöhe in *mm* pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Nr. 1	350 Sec.	0·000379	0·0227	1·3620	32·69
» 2	352 »	0·000377	0·0226	1·3560	32·54
» 3	155 »	0·000855	0·0513	3·0780	73·87
» 4	175 »	0·000758	0·0455	2·7300	65·52
» 5	240 »	0·000553	0·0332	1·9920	47·81
» 6	1080 »	0·000123	0·0074	0·4440	10·66
» 7	490 »	0·000271	0·0163	0·9780	23·47

7.

6. Jänner 1894.

Dauer des Regens: 6^h a.m.—5^h p.m.

Beobachtungszeit: 6^h 25 a.m.—7^h 50 a.m.

	Zeit	Regenhöhe in *mm*
Beobachtung Nr. 1	6^h 25—6^h 45	0·093
» » 2	6 45—7 2	0·106
» » 3	7 2—7 12	0·253
» » 4	7 12—7 24	0·782
» » 5	7 24—7 30	0·557
» » 6	7 30—7 35	0·623
» » 7	7 35—7 40	0·464
» » 8	7 40—7 45	0·132
» » 9	7 45—7 50	0·026

	Regenhöhe in *mm* pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Beobachtung Nr. 1	0·000077	0·00465	0·2790	6·70
» » 2	0·000104	0·00623	0·3738	8·97
» » 3	0·000422	0·02530	1·5180	36·43
» » 4	0·001086	0·06516	3·9096	93·83
» » 5	0·001547	0·09283	5·5698	133·68
» » 6	0·002076	0·12460	7·4760	179·42
» » 7	0·001547	0·09280	5·5680	133·63
» » 8	0·000440	0·02640	1·5840	38·02
» » 9	0·000087	0·00520	0·3120	7·49

8.

8. Jänner 1894.

Dauer des Regens: Von Früh bis Abends mit wechselnder Stärke.

Beobachtungszeit: $7^h 15$ a.m. — $7^h 25$ a.m.

	Zeit	Regenhöhe in *mm*
Beobachtung Nr. 1	$7^h 15$—$7^h 21$	0·066
» » 2	7 21—7 26	0·066
» » 3	7 26—7 33	0·132
» » 4	7 33—7 45	0·066

	Regenhöhe in *mm*			
	pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Beobachtung Nr. 1	0·000183	0·01100	0·6600	15·84
» » 2	0·000220	0·01320	0·7920	19·01
» » 3	0·000314	0·01886	1·1316	27·16
» » 4	0 000092	0·00550	0·3300	7·92

9.

8. Jänner 1894.

Dauer des Regens: Von Früh bis Abends mit wechselnder Stärke.

Beobachtungszeit: 12^h 10 p.m. — 12^h 25 p.m.

Beobachtung	Zur Füllung von 1 *cm*³ waren erforderlich	Regenhöhe in *mm*			
		pro Sec.	pro Min.	pro Stunde	pro Tag
Nr. 1	10·0 Sec.	0·013260	0·7956	47·739	1145·66
» 2	8·2 »	0·016170	0·9702	58·212	1397·09
» 3	3·5 »	0 037886	2·2732	136·392	3273·40
» 4	4·0 »	0·033150	1·9890	119·340	2864·16
» 5	4·5 »	0·029467	1·7680	106·080	2545·92
» 6	7·6 »	0·017447	1·0468	62·808	1507·39
» 7	8·4 »	0·015785	0·9471	56·826	1363·82
» 8	9·2 »	0·014413	0·8648	51·888	1245·31
» 9	14·5 »	0·009144	0·5486	32·916	789·98

IV. Einige nach der Aufsaugungsmethode durchgeführte Bestimmungen von Regenhöhen.

Diese oben beschriebene Methode wurde hauptsächlich benützt, um die Grösse der Regentropfen kennen zu lernen. Ich komme hierauf später zurück. Es wurden aber mit Zuhilfenahme dieser Methode auch Regenhöhen für einzelne Secunden bestimmt.

Die gesammte in den einzelnen Versuchen in Anwendung gebrachte, die Tropfen aufnehmende Fläche der Aufsaugungspapiere betrug 250 cm^2 und die Aufsaugungsconstante der benützten Papiere betrug 0·0055, beziehungsweise 0·0104 *g* pro 1 cm^2. Für stärkere Regen sind, wie schon bemerkt, die Papiere mit höheren, für schwächere Regen die mit niedrigeren Absorptionscoëfficienten vorzuziehen.

Es wurden zahlreiche Versuche ausgeführt, besonders bei starkem Regen (und natürlich auch bei völliger Windstille), um die höchsten pro Secunde niederfallenden Regenmengen kennen zu lernen. Es konnte aber nur ein kleiner Theil der Versuche als gelungen betrachtet werden, nämlich nur jene, bei welchen keine zufällige Benässung des Papieres stattfand. Es wurde je ein Papier von 500 cm^2 Fläche hohl aufgelegt und mit einem breitrahmig ausgeschnittenen Cartonstücke derart belegt, dass die zur Aufnahme der Tropfen bestimmte Fläche 250 cm^2 frei zu liegen kam. Die nach der Aufnahme der Tropfen erfolgte Ausbreitung der Flüssigkeit über die Fläche von 250 cm^2 hinaus konnte natürlich keine Störung des Versuches herbeiführen, denn es handelt sich ja in diesen Versuchen um zweierlei: erstens, dass die Regentropfen auf eine Fläche von bestimmter Grösse niederfallen, und zweitens, dass sie sich, ihrer Grösse entsprechend, vollständig ausbreiten. Es kann deshalb keine Fehler hervorbringen, wenn die Ausbreitungsfläche über die Aufnahmsfläche hinaus sich ausdehnt.

Aus meinen zahlreichen, nach der Absorptionsmethode ausgeführten Beobachtungen hebe ich hier nur einige wenige hervor, welche ich bei den zeitweise überaus heftigen Regen am 28. November 1893 und 10. Jänner 1894 anstellte. An

letzterem Tage habe ich die grössten Regenhöhen pro Secunde notirt, und es dürften dieselben wohl den grössten Regenhöhen nahekommen, welche in den Tropen vorkommen.

Die mittlere Regenhöhe, welche ich aus den am 28. November angestellten, durch 8 Minuten fortgesetzten Beobachtungen ableitete, betrug 0·015 *mm* pro Secunde, was auch nahezu dem Mittel entspricht, welches die parallel angestellten Bürettenversuche ergaben. Der höchste beobachtete Werth betrug aber innerhalb der Beobachtungszeit 0·0299 *mm* pro Secunde, woraus also zunächst hervorgeht, dass selbst innerhalb eines Zeitraumes von 8 Minuten die Intensität des Regens sehr beträchtlichen Schwankungen ausgesetzt ist. Zur Füllung von 1 cm^3 war innerhalb der genannten Zeit ein kleinster Zeitraum von 5·2 Secunden erforderlich, was pro Secunde einer grössten Regenhöhe von 0·0255 *mm* entspricht. Es scheint mithin schon während eines Zeitraumes von 5·2 Secunden die Regenstärke sich verändert zu haben.

Unter der Annahme, dass die beobachtete Regenstärke von 0·0299 *mm* pro Secunde angehalten haben würde, hätte die Regenhöhe pro Minute 1·794, pro Stunde 107·64 und pro Tag 2583·36 *mm* betragen.

Die mittlere Regenhöhe, welche ich nach der Aufsaugungsmethode am 10. Jänner 1894 erhielt, wich nur unerheblich von dem Mittel der Bürettenversuche ab. Die höchsten in der Secunde nach der Aufsaugungsmethode erhaltenen Werthe waren wieder höher als die nach der Bürettenmethode erhaltenen Durchschnittswerthe. Die grösste Regenhöhe, welche ich nach der Aufsaugungsmethode in der Secunde erhielt, betrug 0·0405 *mm*. Es ist dies die grösste Regenhöhe, welche ich überhaupt beobachtete.

Aus dieser Regenhöhe berechnet sich unter der Annahme constant starken Regens eine Regenhöhe pro Minute von 2·4300 *mm*, pro Stunde von 145·80 *mm* und von 3499·2 *mm* pro Tag, welcher letztere Werth schon der jährlichen Regenmenge von Buitenzorg nahekommt.

Die berechnete stündliche Regenhöhe von 145·80 *mm* übersteigt beträchtlich die grössten stündlichen Regenhöhen, welche auf der Erde bisher beobachtet wurden.

V. Grösse der Regentropfen.

Über die Grösse, welche fallende Regentropfen erreichen können, habe ich in den meteorologischen Schriften keine zuverlässigen Daten gefunden. Die noch immer reproducirte Angabe, dass im äquatorialen Gebiete oft Regentropfen von Zollgrösse niederfallen,[1] ist wohl schon von vornherein höchst unwahrscheinlich, und, wie übrigens die unten folgenden, auf thatsächlichen Beobachtungen fussenden Auseinandersetzungen mit voller Bestimmtheit zeigen werden, unrichtig.

Auch über die Grösse, welche fallende Wassertropfen erreichen können, konnte ich in der Literatur nichts auffinden, obgleich über Tropfenbildung mancherlei interessante physikalische Untersuchungen vorliegen.[2]

Ich habe deshalb selbst eine Reihe von Versuchen über die grössten möglichen Wassertropfen angestellt, um die obere Grenze der Grösse, welche Regentropfen erreichen können, auszumitteln.

Die Versuche wurden in der verschiedensten Weise ausgeführt, leiteten aber stets zu demselben Resultate: dass nämlich die grössten Wassertropfen, welche ich erzeugen konnte, nahezu ein Gewicht von 0·26 *g* hatten.

Die genauesten, nämlich zu den übereinstimmendsten Resultaten führenden Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt. Aus einer Wasserleitungsröhre, welche durch einen genau gearbeiteten Hahn eine sehr feine Regulirung des Wasserausflusses ermöglichte, wurde Wasser in der Weise abgelassen, dass kein continuirlicher Strom mehr ausfliessen, sondern bloss Tropfen, und zwar die schwersten Tropfen, welche unter den gegebenen Verhältnissen sich bilden konnten. Es wurden je zwanzig Tropfen in einem gewogenen mit Uhrglas bedeckten Becherglas gesammelt und gewogen. Das

---

[1] In Kunzek's Meteorologie (Wien 1847) S. 124 heisst es: »In der heissen Zone erlangen die Regentropfen oft eine Grösse von einem Zoll im Durchmesser«. Aus welcher Quelle Kunzek diese Angabe schöpfte, ist nicht angegeben. Diese Angabe ist später in andere Werke übergegangen, z. B. in Hessler's bekannte Physik, 2. Auflage, S. 887.

[2] So z. B. J. B. Hannay, On Drops. Proc. R. Soc. of Edinb. Vol. XX (1895), Guthrie, ebendaselbst Vol. XIII.

durchschnittliche Tropfengewicht betrug in drei aufeinanderfolgenden Versuchen 0·267, 0·269 und 0·268 *g*.

In einer nächsten Versuchsreihe wurde vollkommen rein geschlämmter, feinkörniger Sand auf ein in Rahmen gespanntes etwa 600 cm^2 messendes Colirtuch gebracht und von demselben Wasser abfliessen gelassen. Nachdem das Wasser nicht mehr in einem continuirlichen Strahl, sondern in grossen Tropfen abrann, wurde zum Sand beiläufig in dem Verhältniss Wasser in Tropfenform zufliessen gelassen, als unten abrann. Es wurden wieder je zwanzig Tropfen in der oben angegebenen Weise gesammelt und gewogen. In drei aufeinanderfolgenden Versuchen wurden folgende durchschnittliche Tropfengewichte gefunden: 0·259, 0·260, 0·259 *g*.

In einer dritten Versuchsreihe wurde in der gleichen Weise vorgegangen, nur mit dem Unterschiede, dass statt des gereinigten Sandes gewaschene Sägespäne angewendet wurden, von welchen nur reines Wasser abfloss. Der Versuch ergab folgende durchschnittliche Tropfengewichte. Im ersten Versuche 0·261, im zweiten 0·260, desgleichen im dritten.

Nimmt man die Durchschnitte aus diesen Versuchen, so ergibt sich

bei Rohrausfluss	mittlere Tropfengrösse		= 0·2680 *g*,
bei Colirung über Sand	»	»	= 0·2593 *g*,
bei Colirung über Sägespäne	»	»	= 0·2606 *g*.

Diese für meine Zwecke allerdings ausreichende Methode ist freilich zu roh, um zu entscheiden, in welchem Masse die verschiedenen Bedingungen der Tropfenbildung in jedem einzelnen Falle auf das Gewicht des Tropfens einwirken, und ob die gefundenen Unterschiede bloss zufällige sind, oder ob nicht die Verschiedenheiten der Adhäsionsverhältnisse, beziehungsweise (im Röhrenversuch) der grössere Wasserdruck jene kleinen Unterschiede in der Tropfengrösse bewirken, welche in meinen Versuchen gefunden wurden.

Mit diesen grössten von mir erzeugten Wassertropfen habe ich experimentirt und bin zu dem bestimmten Resultat gelangt, dass die grössten Regentropfen ein Gewicht besitzen müssen, welches kleiner ist als 0·26 *g*.

Lässt man nämlich die bei der Sand- oder Sägespänecolirung abfliessenden Wassertropfen eine Höhe von 22 bis 5 *m* fallen, so reissen sie auseinander, es fällt zuerst ein schwerer, dann fast unmittelbar darauf mit deutlichem Anschlag ein leichter Tropfen, und der erstere besitzt, nach der Absorptionsmethode gemessen, ein Gewicht, welches stets unter 0·2 *g* gelegen ist.

Man wird aus all diesen Versuchen ableiten können, dass die aus einer Höhe von mehr als 5 *m* niederfallenden Regentropfen im äussersten Falle das Gewicht von 0·2 *g* nicht überschreiten können, was übrigens auch aus meinen directen, nach der Absorptionsmethode ausgeführten Messungen der Regentropfengrösse hervorgeht.

Bevor ich die Resultate dieser Messungen und Beobachtungen mittheile, möchte ich nur durch eine Berechnung meiner Regenfallbeobachtungen zeigen, dass Regentropfen von Zollgrösse (siehe oben S. 1421) ganz unmöglich sind.

Es kommt nur selten, und zwar nur im Beginn intensiver Regen vor, dass pro Secunde und pro 100 cm^2 nur ein schwerer Regentropfen niederfällt, gewöhnlich fallen in der Secunde auf die genannte Fläche 2, 3 Tropfen und mehr. Nun ergibt sich aus meinen zahlreichen, oben nur zum Theil wiedergegebenen Beobachtungen als grösste beobachtete Regenhöhe pro Secunde 0·04 *mm*. Dieser Regenhöhe entspricht aber für eine Fläche von 100 cm^2 ein Gewicht des niedergefallenen Wassers = 400 *mg*. Ein Regentropfen von Zollgrösse hat aber ein Gewicht von etwa 7140 *mg*. Wenn man also die Annahmen bis auf's äusserste steigert, indem man annimmt, der eine pro Secunde auf eine Fläche von 100 cm^2 niedergefallene Regentropfen habe das grösste pro Secunde beobachtete Regentropfengewicht erreicht, so hätte ein solcher grösster Regentropfen nur etwa den achtzehnten Theil des Gewichtes eines Regentropfens von Zollgrösse.[1] Aber selbst ein Regentropfen von 0·4 *g* ist aus oben angeführten Gründen schon ein Ding der Unmöglichkeit.

---

[1] Nimmt man einen länger andauernden Regen an, bei welchem pro Sec. und 100 *cm* je ein zollgrosser Regentropfen fällt, so würde nach weniger als zwei Stunden die jährliche Regenhöhe von Buitenzorg erreicht sein.

Berechnet man das Gewicht der Regentropfen unter der Voraussetzung, dass bei grösster bisher beobachteten Regenhöhe (0·04 *mm* pro Sec.) 2, 3, 4, 5 und 6 Regentropfen auf eine Fläche von 100 cm^2 in der Secunde niederfallen, so erhält man folgende Werthe:

	Tropfengewicht
2 Tropfen pro Sec.	0·200 *g*
3 » » »	0·133
4 » » »	0·100
5 » » »	0·080
6 » » »	0·066

Nun beobachtet man inmitten stärksten Regens innerhalb einer Secunde pro 100 cm^2 allerdings 2—6, manchmal noch mehr Tropfen. Aber die angenommene maximale Regenhöhe ist doch nur ein seltener Ausnahmsfall. Es ergiebt sich somit aus der angestellten Berechnung, dass die schwersten in den Tropen niederfallenden Regentropfen im äussersten Falle ein Gewicht von 0·2 *g* besitzen könnten.

Das nach der Aufsaugungsmethode bestimmte maximale Tropfengewicht beträgt nach meinen, bei den stärksten Regen ausgeführten Beobachtungen 0·160 *g*. So schwere Tropfen habe ich aber nur selten beobachtet. Viel häufiger hatten die während eines Regens beobachteten grössten Regentropfen bloss ein Gewicht von 0·06—0·08 *g*.[1]

[1] Nach Abschluss meiner Untersuchungen über die Grösse der Wassertropfen machte mich mein verehrter College, Herr Hofrath Hann, auf eine Abhandlung aufmerksam, welche von Dr. Rohrer im Jahre 1859 unter dem Titel »Über Regentropfen und Schneeflocken« in diesen Berichten Bd. XXXV, S. 211 ff veröffentlicht wurde. In dieser Abhandlung wurde der Versuch gemacht, die Grösse der Regentropfen zu ermitteln. Die Regentropfen wurden auf eine Glasplatte aufgefangen, worauf der Durchmesser des sich am Glase ausbreitenden Tropfens und dessen Höhe gemessen wurde. Der kleinste bei Platz- und Gewitterregen beobachtete, auf der Glasplatte ausgebreitete Tropfen betrug 0‴6 bei einer Höhe von 0‴05, der grösste 16‴0 bei einer Höhe von 0‴2. Aus seinen Messungen und Berechnungen leitet der Verfasser (S. 214) ab, dass die grössten bei den stärksten Regen (in Lemberg) beobachteten Tropfen einen Durchmesser besassen, welcher 3‴ noch nicht erreichte. Nach der von mir vorgenommenen Umrechnung der Messungen des Dr. Rohrer, haben die

Würden die grössten Regentropfen jenes Gewicht erreichen können, welches die grössten aus Röhren abfliessenden Wassertropfen annehmen, und würden Tropfen unter 0·26 *g* Gewicht nicht mehr zerreissen, so müssten die grössten Regentropfen ein Gewicht von 0·2 *g* erreichen, was ich in keinem einzigen Fall beobachtet habe.

Es ist somit wahrscheinlich, dass auch Tropfen unter 0·26 *g* Gewicht im Falle zerreissen. Ich habe dies aber nicht untersucht, weil ich mich begnügte, die obere Grenze der Grösse fallender Wassertropfen approximativ zu ermitteln.

Dass die fallenden Regentropfen auch nicht mit grösseren zu 0·2 *g* bis 0·26 *g* schweren Tropfen verschmelzen, scheint gleichfalls aus meinen Beobachtungen hervorzugehen. Käme eine solche Verschmelzung thatsächlich zustande, so könnten so schwere Regentropfen sich doch nur bei einer Fallhöhe unter 5 *m* in ihrem Gewichte erhalten.

Ich glaube weiter unten, wenn ich die Geschwindigkeit fallender Regentropfen abhandeln werde, eine Erklärung dafür geben zu können, dass eine Verschmelzung grösserer Regentropfen bei ruhigem, das ist vom Winde nicht gestörten Falle der Tropfen sehr unwahrscheinlich ist.

Vergleicht man das aus einer Brause selbst bei geringem Drucke niederfallende Wasserquantum mit der bei dem stärksten tropischen Regen niedergehenden Regenmenge, so ergibt sich, dass die erstere im Vergleiche zur letzteren enorm gross ist.

---

grössten von ihm beobachteten (und nach seiner Angabe nicht häufig vorkommenden) Regentropfen ein Gewicht von 0·108 *g*.

Die von Rohrer angewendete Methode ist sehr ungenau, weil die niederfallenden Tropfen auf der Glasplatte in der Regel kein zusammenhängendes Ganze bilden. Aber auch die Berechnung des Inhaltes der auf dem Glase ausgebreiteten Tropfen kann nicht mit Genauigkeit durchgeführt werden; erstlich wegen der Schwierigkeit die Tropfenhöhe genau zu ermitteln, und zweitens weil man nicht genau weiss, welche Körperform der Inhaltsberechnung des am Glase ausgebreiteten Tropfens zu Grunde gelegt werden soll. Die von mir in Anwendung gebrachte Absorptionsmethode ist unvergleichlich genauer. Die schwersten Regentropfen, welche ich bei Platzregen in den Monaten August und September der Jahre 1893—1895 zu Kirchdorf in Oberösterreich beobachtete, hatten ein Gewicht von 0·12—0·13 *g*. In der Regel sind aber die bei Platzregen niederfallenden Regentropfen beträchtlich leichter.

Aus der Brause einer gewöhnlichen Gartengiesskanne fliesst pro Secunde in einer Höhe von 1 *m*, wenn alles ausfliessende Wasser in Tropfen aufgelöst ist, eine Flüssigkeitsmenge ab, welche eine Wasserhöhe von 1—4 *mm* liefert. Im äussersten Falle ist also die aus der Brause in Tropfenform niederfallende Menge hundertmal grösser als die, welche bei den stärksten tropischen Regen niedergeht.

Man ist von vorneherein wohl nicht geneigt anzunehmen, dass die bei Platzregen oder gar bei den heftigsten tropischen Regen niederfallende Wassermenge im Vergleiche zu der aus einer Brause abfliessenden, so ausserordentlich gering ist. Man lässt sich eben durch das Getöse, welches z. B. beim Niederprasseln eines heftigen Regens auf das Blätterdach der Bäume entsteht, täuschen.

Diese und ähnliche Täuschungen haben häufig zu der Annahme geführt, dass bei den heftigsten Regengüssen, z. B. bei Wolkenbrüchen und tropischen Regen, das Wasser in Fäden oder in Strömen aus der Höhe niederfliesst.[1] Experimentell ergibt sich aber zweierlei: erstlich, dass ein Wasserfaden beim Fall sich sehr rasch in Tropfen auflöst, und zweitens, dass selbst unter der Annahme sehr dünner Wasserfäden eine so kolossale Wassermenge niederfällt, dass die bei den heftigsten Tropenregen sich ergebenden Wassermengen dagegen verschwinden.

Lässt man aus einer Bürette, welche mit 25 cm^2 Wasser gefüllt ist, bei einer Ausflussöffnung von 1·5 *mm* Durchmesser einen continuirlichen Strom ausfliessen, und erhält man den Druck der etwa 20 *cm* hohen Wassersäule constant, so zerreisst der Wasserfaden 12 *cm* unter der Ausflussöffnung, bei einem Wasserstand von 15 *cm* 9 *cm*, bei 5 *cm* 4 *cm* unter der Ausflussöffnung. In einer verticalen Entfernung von 1—2 *m* ist der Wasserstrahl völlig in kleine Tropfen aufgelöst und fällt in

---

1 Vergl. z. B. Kunzek l. c., ferner Lorenz und Rothe, Lehrbuch der Klimatologie, Wien, 1874, S. 134, wo es heisst, dass nach Angabe von Reisenden in den Tropen der Regen nicht mehr in Tropfen, sondern in Wasserfäden niederzufallen scheint.

8—9 *m* Tiefe wie ein Regen nieder. Die Tropfen dieses »Regens« haben nach meinen mittelst der Absorptionsmethode vorgenommenen Messungen ein Gewicht von 0·06—0·12 *g*. Da, wie ich oben gezeigt habe, die grössten Tropfen beim Falle in kleinere zerreissen, so ist es ganz selbstverständlich, dass ein Niedergehen des Regens in Form von »Strömen« oder »Fäden« wohl ausgeschlossen erscheint. Selbst wenn ein Zusammenfliessen der Tropfen angenommen werden würde, so müssten infolge zu geringen Druckes die so entstandenen vereinigten Wassermassen beim Falle rasch in Tropfen zerlegt werden.

Aus der Bürette, welche zu obigen Versuchen diente, fliesst bei einem Druck von 20 *cm* Wasserhöhe in einer Secunde etwa 1 cm^3 Wasser aus. Nimmt man an, dass pro Quadratcentimeter nur ein solcher Wasserfaden niederginge, so würde innerhalb einer Stunde die »Regenhöhe« 36000 *mm* betragen, das ist etwa das Achtfache der jährlichen Regenhöhe von Buitenzorg.

VI. Fallgeschwindigkeit der Regentropfen.

Eine mathematisch genaue Bestimmung der Fallgeschwindigkeit der Regentropfen lag nicht in meiner Absicht. Es handelte sich mir nun darum, approximativ für Tropfen bestimmter Grösse die Fallgeschwindigkeit zu erhalten, um daraus den Stoss, der auf die niederfallenden Pflanzentheile ausgeübt wird, annähernd richtig bestimmen zu können.

Die diesbezüglichen Versuche wurden zum Theile in einem abgeschlossenen Stiegenhause der Universität, zum Theile im sogenannten Thurmmagazin der Universitätsbibliothek, zu dessen Benützung der Bibliotheksdirector Herr Regierungsrath Dr. Grossauer mir gütigst die Erlaubniss ertheilte, ausgeführt.

Im Stiegenhause hatte ich einen disponiblen Fallraum von 8·8 *m*, im Thurmmagazin von 22·2 *m* Höhe.

Während der Versuche waren Fenster und Thüren sowohl des Stiegenhauses als auch des Thurmmagazins vollkommen geschlossen, so dass keine merkliche Luftbewegung stattfand.

Die Versuche wurden mit Tropfen von bestimmtem Gewichte vorgenommen. Leichtere Tropfen (von 0·01—0·06 *g*) wurden durch Abfliessen bestimmt geformter und vorher bis zu einer bestimmten Tiefe in reines Wasser eingetauchten

Holzstäbe gewonnen. Schwerere Tropfen (0·07 *g*) wurden durch Ausfliessen aus sehr genau gearbeiteten Tropffläschchen erzeugt. Die grössten Tropfen (0·25—0·26 *g*) gewann ich durch Coliren von Wasser über Sägespähne, welche sich auf einem in Rahmen gespannten Colirtuch befanden.

Die Versuche wurden von zwei Beobachtern ausgeführt. Die genauesten Versuche machte ich in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Friedrich Czapek, Assistent am pflanzenphysiologischen Institute. Ein Beobachter markirte durch kurzen Anruf den Abgang des Tropfens, ein zweiter bestimmte mit Zuhilfenahme des Chronographen die Zeit zwischen Abgang des Tropfens und dem Momente des Niederfallens. Die Beobachter wechselten von Zeit zu Zeit ihren Standort, so dass die Zeitbestimmung von zwei Beobachtern vorgenommen wurde.

Es wurden Tropfen von 0·01, 0·05, 0·06, 0·07 und 0·25 bis 0·26 *g* fallen gelassen.[1] Da erst von 5·5 *m* Fallhöhe an eine ausreichend verlässliche Bestimmung der Fallzeit vorgenommen werden konnte, so wurde erst von dieser Fallhöhe an beobachtet, und betrugen die Höhen,[2] von welchen die Tropfen fallen gelassen wurden 5·5, 8·8, 9·34, 11·39, 16·49 und 22·24 *m*.

Es wurden im ganzen an 200 Beobachtungen angestellt. Die kleinste beobachtete (mittlere) Fallgeschwindigkeit dieser fünf Tropfengattungen bei den sechs Fallhöhen betrug 6·28 *m*, die grösste 7·41 *m*. Es zeigte sich in allen beobachteten Fällen eine Annäherung an den Werth 7 *m* pro Secunde.

Die genauesten Versuche waren natürlich diejenigen, welche bei der grössten Fallhöhe (22·24 *m*) vorgenommen wurden, weil die Fallzeit die grösste war. Für die sechs ver-

---

[1] Die kleinsten Tropfen, welche ich durch Abfliessen des Wassers von zugespitzten Holzstäben erzielen konnte, hatten ein Gewicht von 7—8 *mg*. Es war aber mühsam, umständlich und zeitraubend solche Tropfen zu erhalten, es gelang aber leicht und sicher Tropfen von 0·1 *g* zu erzeugen, weshalb ich diese als Tropfen geringsten Gewichtes in meinen Versuchen verwendete.

Durch Zerstäubungsapparate erhält man natürlich noch viel kleinere Tropfen, die sehr langsam, anscheinend ohne jede Acceleration sinken. Es lag nicht in meiner Absicht mit so kleinen Tropfen zu experimentiren.

[2] Die Anlage des Thurmmagazins liess die Verwendung von genau proportionalen, etwa von 2 zu 2 *m* differirenden Fallhöhen nicht zu.

schiedenen Tropfenkategorien wurden im Durchschnitte die Werthe 7·17—7·41 *m* pro Secunde ermittelt; die gewonnenen Zahlen liessen aber durchaus kein Zunahme der Fallgeschwindigkeit mit Zunahme des Tropfengewichtes erkennen.[1]

Die geringe, aber für meine Zwecke ausreichende Genauigkeit der Versuche und der weitere Umstand, dass die Geschwindigkeiten bis zu Fallhöhen von 5·5 *m* nach meiner Methode gar nicht ermittelt werden konnten, bestimmen mich, aus meinen hier angeführten Beobachtungen keinen anderen als den Schluss zu ziehen, dass Wassertropfen von 0·01—0·25 *g* Gewicht bei Fallhöhen von 5·5—22·2 *m* mit angenähert gleicher Geschwindigkeit von etwas mehr als 7 *m* in der Secunde niederfallen.

Immerhin lässt sich aus den Beobachtungen auch ableiten, dass schon innerhalb einer Strecke von weniger als 20 *m* die Acceleration der fallenden Tropfen durch den Luftwiderstand nahezu aufgehoben wird.

Da ich nach meiner Methode jene Fallhöhe, bei welcher die Beschleunigung durch den Luftwiderstand aufgehoben wird, nicht zu finden vermochte, so habe ich auf anderen Wegen mir darüber Aufschluss zu verschaffen gesucht.

Die folgende Methode hat meinen Zwecken am besten entsprochen. Es wurden auf jene Fliesspapiere, welche zur Bestimmung der Regenmenge nach der Absorptionsmethode dienten, Tropfen aus bestimmten Höhen fallen gelassen. War die Fallhöhe gering, betrug dieselbe nur einen oder wenige Centimeter, so breitete sich der Wassertropfen ganz oder nahezu in einer Kreisfläche auf dem Papiere aus. Je grösser die Fallhöhe wurde, desto mehr veränderte sich die Gestalt des aufgesogenen Tropfens. Die Figur wurde strahlig, und desto regelmässiger, je ruhiger der Tropfen abfiel, und je fester das absorbirende Papier gespannt war. Am besten ist es, dasselbe in einem Holzrahmen mit Heftnägeln zu spannen. Je grösser die Fallhöhe ist, desto grösser wird die Zahl der Strahlen,

---

[1] Da Tropfen von 0·01—0·26 *g* Gewicht mit nahezu gleicher Geschwindigkeit fallen, so ist es unwahrscheinlich, dass (bei Windstille) grössere Tropfen während des Falles untereinander verschmelzen (vergl. oben S. 1425).

welche von einem Tropfen ausgehen. Aber auch je schwerer ein Tropfen ist, desto grösser wird bei gleicher Fallhöhe die Zahl der Strahlen. Für jeden Tropfen erhält man aber bei einer bestimmten Fallhöhe ein Maximum von Strahlen, welches durch weitere Vergrösserung der Fallhöhe nicht mehr überschritten wird. Jene Fallhöhe, bei welcher die Zahl der Strahlen ihr Maximum erreicht, bezeichnet angenähert den Punkt, in welchem die Acceleration des fallenden Tropfens durch den Luftwiderstand aufgehoben wird, und von welchem an der Tropfen mit gleicher oder doch annähernd gleicher Geschwindigkeit fällt.

Die Ausbreitung der Tropfen erfolgt in verschiedenen Fliesspapieren in verschiedener Weise, je dünner die Papiere sind, desto länger werden die Strahlen. Unter sonst gleichen Verhältnissen ist bei verschiedenem Papiere die Zahl der Strahlen verschieden. Man muss also bei Durchführung einer Versuchsreihe mit einem und demselben Papier operiren und muss sich von dessen Homogenität überzeugen, am besten nach der oben angegebenen Absorptionsmethode. Es müssen sich Tropfen von gleichem Gewichte in vollkommen gleicher Fläche ausbreiten.

Meine hier ausgeführten Versuche ergaben folgendes Resultat:

Gewicht des Tropfens	Maximale Strahlenzahl (Mittel aus 10 Beobachtungen)	Kleinste Fallhöhe zur Erreichung des Maximums der Strahlen (Mittel aus 10 Beobachtungen)
0·01 *g*	17·5	1— 2 *m*
0·03	23	2— 3
0·06	26	2— 4
0·07	35	3— 5
0·10	40	5— 8
0·16	49·5	8—11
0·20	52	9—14

Die bei starken Regengüssen und bei Windstille niederfallenden Tropfen geben bei gleichen Gewichten angenähert dieselben Strahlenzahlen. Doch habe ich sowohl bei tropischen, als bei unseren Regen in der Regel etwas grössere Werthe gefunden als beim Fall aus einer Höhe von circa 22 *m*, z. B. in Buitenzorg bei 0·06 *g* 29, bei 0·16 53 Strahlen etc., ferner

in Kirchdorf (Oberösterreich) bei 0·03 *g* 24, bei 0·06 *g* 29 Strahlen im Mittel. Es scheint also, dass die Beschleunigung der aus grossen Höhen niederfallenden Tropfen erst in einer weit über 22 *m* hinaus liegenden Fallhöhe den Werth Null erreicht; es ist aber im hohen Grade wahrscheinlich, dass die Geschwindigkeitszunahme assymptotisch erfolge, der Werth Null also nie erreicht wird. Jedenfalls ist aber mit Rücksicht auf die grosse Fallhöhe des Regens über 20 *m* hinaus die Geschwindigkeitszunahme eine ungemein geringe.

Dass die Fallgeschwindigkeit des Regens eine geringe und — man muss wohl sagen angenähert — eine constante ist, geht aus folgenden anschaulichen Thatsachen hervor, auf welche mich mein verehrter College, Herr Regierungsrath Prof. Mach bei Gelegenheit meiner Mittheilung der eben vorgeführten Beobachtungen über die Fallgeschwindigkeit von Wassertropfen aufmerksam machte.

Wenn man den Fall des Regens bei Wind betrachtet, so geben die fallenden Tropfen das Bild gerader unter einander paraller Linien, und zwar auf grosse Distanzen in verticaler Richtung, nämlich so weit das Auge reicht.

»Wenn die Bahn der fallenden Regentropfen«, bemerkt Herr Prof. Mach, »bei Combination der Fallbewegung mit der nahezu gleichförmigen Windbewegung geradlinig erscheint, wie es thatsächlich der Fall ist, so folgt, dass die Tropfen ohne merkliche Beschleunigung, mit bereis constanter Geschwindigkeit fallen, ferner, dass deren Geschwindigkeit in verticaler Richtung wegen der merklichen Schieflage der Bahn von der Ordnung der Windgeschwindigkeit ist.

Bedeutet v (siehe nebenstehende Figur) die Fallgeschwindigkeit, w die Windgeschwindigkeit, so ist

$$\frac{w}{v} = \operatorname{tang} \alpha.$$

α v w

Mit Beschleunigung fallende Tropfen müssten eine nach oben convexe parabolische Bahn beschreiben. Wäre die Horizontalcomponente der Tropfengeschwindigkeit von der Windgeschwindigkeit noch merklich verschieden, so müsste

die Bahn wegen der merklichen Horizontalbeschleunigung eine nach oben concave Curve sein.

Aus der geringen Fallgeschwindigkeit folgt zugleich, dass die Falltiefe zur Erreichung der Endgeschwindigkeit nur eine geringe ist.« —

Nach Beendigung meiner Beobachtungen über die Fallgeschwindigkeit der Wassertropfen wurde ich auf eine kleine Abhandlung von H. Allen[1] aufmerksam gemacht, in welcher eine theoretische Ableitung der Geschwindigkeit des fallenden Regens versucht wird. In dieser Abhandlung wird der Nachweis geliefert, dass der Einfluss des Gewitterregens auf die Windbildung weit überschätzt wurde. Es wurde behauptet, dass der Ausfluss der Luft unter einer Gewitterregenwolke mit einer Geschwindigkeit von 40—50 Meilen pro Stunde erfolgen könne. Allen berechnet aber für den Fall von Regentropfen mit 5 *mm* Durchmesser, dass der Ausfluss der Luft unter der regnenden Wolke bloss mit einer Geschwindigkeit von 0·0036 Fuss pro Secunde, mithin von 0·05243 Meilen pro Stunde erfolge.

Zu dieser Berechnung benöthigt Allen die Fallgeschwindigkeit der Regentropfen. Er leitet die Fallgeschwindigkeit aus der bekannten Formel von Price (Theorie of projectiles)

$$v = \frac{\sqrt{g}}{k}$$

ab, indem er für k (Widerstand des Mediums) setzt:

$$\frac{\text{Dichte der Luft} \times \text{grösster Querschnitt des Tropfens}}{\text{Volum des Tropfens}}.$$

Indem er einen Tropfen von 5 *mm* im Durchmesser (circa 0·063 *g*) annimmt, erhält er nach obiger Formel eine Fallgeschwindigkeit von 5·03 *m* pro Secunde, also eine Zahl, die noch kleiner ist, als der von mir experimentell nachgewiesene Werth.

Da aber bei allen meinen Fallgeschwindigkeitsbestimmungen die beobachtete Fallzeit niemals den Werth von 3·1

---

[1] Outflow of air under falling rain. Amer. meteorol. Journal, Vol. IV (Mai 1887—April 1888), p. 206—211.

Secunden überschritt, da ferner bei der grössten Fallhöhe meiner Versuche (22·24 *m*) unter der Voraussetzung der Richtigkeit der von Allen berechneten Fallgeschwindigkeit die Fallzeit hätte mehr als 4·4 Secunden betragen müssen, da endlich der Fehler meiner Zeitbestimmung bei jedem Versuche sich soweit ausgleicht, dass derselbe im Durchschnitte höchstens ±0·1 Secunde beträgt: so kann wohl mit Bestimmtheit angenommen werden, dass der von mir beobachtete Werth dem factischen näher kommt, als der von Allen berechnete.

VII. Lebendige Kraft der fallenden Regentropfen.

Da das Gewicht der fallenden Regentropfen nunmehr bekannt ist und für Tropfen von 0·01—0·26 *g* die bei deren Fall sich einstellende Endgeschwindigkeit mit grosser Annäherung ermittelt wurde, so lässt sich mit einer für meine Fragestellung ausreichenden Genauigkeit die lebendige Kraft der (bei Windstille) zur Erde fallenden Regentropfen nach der Formel

$$\frac{pv^2}{2g}$$

berechnen.

Nimmt man an, dass die Regentropfen ein Gewicht von 0·2 *g* erreichen könnten — wie schon oben bemerkt, habe ich aber so schwere Regentropfen nicht einmal bei den schwersten von mir beobachteten tropischen Regen constatirt — so hätten dieselben beim Niederfallen zur Erde beiläufig eine lebendige Kraft von 0·0005 Kilogrammmetern.

Die schwersten bis jetzt beobachteten Regentropfen (Gewicht = 0·16 *g*) kämen zur Erde mit einer lebendigen Kraft = 0·0004 Kilogrammmetern. Beträchtlich kleiner und leicht zu berechnen ist die lebendige Kraft der gewöhnlich bei heftigem Regen niederfallenden Tropfen von 0·06—0·08 *g* Gewicht.

Man sieht aus diesen Zahlen, wie gering die Kraft ist, mit welcher selbst die schwersten Regentropfen niederfallen. Es ist ein schwacher Stoss, den das Blatt durch den einzeln niederfallenden Regentropfen erfährt, welcher Stoss durch die elastische Befestigung des Blattes am Stamme noch weiter verringert wird. Mehr als Zittern des Laubes und der Zweige

ist als directe mechanische Wirkung des stärksten Tropenregens nicht wahrnehmbar.

Was über das Zerschmettern aufrechtwachsender krautiger Pflanzen, über das Zerspalten und Abreissen von Blättern durch den tropischen Regen etc. behauptet wurde, ist durchaus unrichtig. Dass beispielsweise die zarten Keimblätter der Tabakpflanze, welche mit den harten Bodentheilchen in Berührung sind, durch starken Regen kleine Verletzungen erfahren können, steht mit den nunmehr geklärten Thatsachen über die Kraft des niederfallenden Regens ganz im Einklange. Allein alle gröberen Verletzungen von Pflanzen und Pflanzentheilen auf die directe Wirkung des Regens zu stellen, ist nicht mehr erlaubt.

Welche mechanische Wirkung der Regen auf die Pflanze ausübt, welche kleinen Beschädigungen von Blättern und Blüthen factisch vorkommen, welche Reize durch die fallenden Regentropfen ausgelöst werden, welche sonstige in physiologischer Beziehung bemerkenswerthe Veränderungen durch die Kraft des Regens hervorgerufen werden, wird die in der Vorbemerkung zu dieser Abhandlung angekündigte Schrift enthalten.